

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ



Bakalářská práce

**Vliv teploty dutiny formy a způsobu dochlazování na
deformace plastového výrobku**

Liberec 2012

František Dostál

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie
Zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Vliv teploty dutiny formy a způsobu dochlazování na deformace plastového výrobku

The influence of temperature of mould cavity and way of cooling on deformations of a plastic product

František Dostál

Vedoucí bakalářské práce:
Konzultant bakalářské práce:

Ing. Aleš Ausperger, Ph.D.
Ing Viktor Živkovič, BEHR Czech s.r.o.,
Mnichovo Hradiště

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 40

Počet obrázku: 16

Počet tabulek: 2

Počet příloh: 3

Datum: 25.5.2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení	František D O S T Á L
Studijní program	B2341 Strojírenství
Studijní obor	3911R018 Materiály a technologie
Zaměření	Tváření kovů a plastů

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářské práce na téma:

Vliv teploty dutiny formy a způsobu dochlazování na deformace plastového výrobku

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Charakteristika zpracování plastů technologií vstřikování, smršťení termoplastů a vliv na konečný tvar výrobku, vliv technologických parametrů na smršťení výstřiků;
2. Výběr a výroba dílu z produkce firmy BEHR Czech s.r.o. za různých teplot tvarové části formy a za různých dochlazovacích postupů;
3. Měření změn vytipovaných rozměrů v závislosti na čase od výroby;
4. Stanovení vlivu teploty tvarové části formy a způsobu dochlazování na deformace měřeného dílu;
5. Vyhodnocení výsledků a jejich diskuse, závěr.

Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva: v rozsahu cca 30 stran

- přílohy: grafy, tabulky

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

- [1] ŠTĚPEK, J., ZELINGER, J., KUTA, A., *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. 1. vyd. Praha, Bratislava : SNTL, Alfa, 1989. 638 s. ISBN DT 678.5(075.8).
- [2] SOVA, M. , KREBS, J. *Termoplasty v praxi: Praktická příručka pro: konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů*. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. ISBN 80-86229-15-7.
- [3] ZEMAN, L. *Vstřikování plastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3
- [3] KOLOUCH, J. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. Praha, SNTL, 1986
- [4] Odborné články v časopisech

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aleš Ausperger, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: Ing Viktor Živkovič, BEHR Czech s.r.o.,
Mnichovo Hradiště

L. S.

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
vedoucí katedry

doc. Ing. Miroslav Malý, CSc
děkan

V Liberci dne 17. 2. 2012

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do její skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Děkuji všem, kteří mi poskytli cenné rady a připomínky při vypracování mé bakalářské práce, dále pak svým rodičům, kteří mi umožnili studovat na TU v Liberci a byli mi vždy oporou.

Dále bych chtěl podekovat Ing. Aleši Auspergerovi, Ph.D. za jeho dohled nad vypracováním bakalářské práce a všem členům KSP za všestrannou pomoc.

Zvláštní poděkování patří panu Janu Šemberovi za laskavé jednání a vstřícnou pomoc při řešení problému.

Anotace

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: B2341 – Strojírenství

Bakalář: František Dostál

Téma práce: Vliv teploty dutiny formy a způsobu dochlazování na deformace plastového výrobku

Vedoucí BP: Ing. Aleš Ausperger, Ph.D.

Konzultant: Ing Viktor Živkovič

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá problematikou vlivu teploty formy a způsobu dochlazování výrobku z polyamidu na deformaci vstřikovaného dílu chladiče. Zaměřuje se na rozměrové změny vyrobených dílů chladiče pro automobil značky Mercedes S - Class. Rozměrové změny jsou sledovány podle teploty části dutiny formy a podle druhu dochlazování výrobku.

Abstrakt:

This bachelor thesis deals with a problematic of an influence of temperature of a mold and a way of cooling of polyamide products on deformation of an injected component of a cooler. It focuses on proportional changes of produced components of the cooler for automobiles Mercedes S – Class. The proportional changes are watched according to the temperature of a part of mould cavity and according to a type of cooling method of the product.

1	ÚVOD	9
2	TEORETICKÁ ČÁST	10
2.1	VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	10
2.2	PRACOVNÍ FÁZE STROJE	12
2.3	DEFORMACE A SMRŠTĚNÍ VÝROBKU	13
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	21
3.1	TYP A CHARAKTERISTIKA MATERIÁLU	22
3.2	CHARAKTERISTIKA STROJE	22
3.3	TECHNOLOGICKÉ PARAMETRY VÝROBY	24
3.4	MĚŘENÍ TEPLoty FORMY	24
3.5	CHLAZENÍ TVÁRNÍKU	25
3.6	MĚŘENÍ ROZMĚRU VÝROBKU	27
4	DISKUZE	29
5	ZÁVĚR	37
6	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	39

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

F_u	[N]	uzavírací síla
F_p	[N]	přisouvací síla
t	[s]	čas
$ts1$	[s]	doba uzavření vstřikovací formy
$ts2$	[s]	doba přisunutí tavicí komory k formě
$ts3$	[s]	doba otevření vstřikovací formy
tv	[s]	doba vstřikování
tch	[s]	doba chlazení
td	[s]	doba dotlaku
tpl	[s]	doba plastikace
tm	[s]	doba manipulace
tc	[s]	celková doba vstřikování
S_k	[s]	doba pohybu šneku
S_N	[s]	doba pohybu nástroje
S_V	[%]	objemové smrštění
S_{VV}	[%]	výrobní smrštění
S_T	[%]	celkové smrštění
S_L	[%]	lineární smrštění
V_F	[cm ³]	objem tvarové dutiny formy
V_v	[cm ³]	objem výstřiku
L_F	[mm]	hlavní rozměr formy
L_v	[mm]	hlavní rozměr výstřiku
L_{VS}	[mm]	výchozí rozměr výstřiku
L_{VP}	[mm]	konečný rozměr výstřiku

Ds	[%]	dodatečné smrštění
T _{VY}	[°C]	teplota vyhození z formy
T _O	[°C]	teplota okolí
PA		polyamid

1 ÚVOD

Výrobky z plastů jsou všude kolem nás a setkáváme se s nimi v běžném životě naprosto neustále. Zaujímají největší procento lidské tvorby a přeměny nemateriálních hodnot v materiální. Nejefektivnějším způsobem přesné výroby tvarově náročných součástí z plastů je výroba vstřikováním. Jakost výsledného výrobku při vstřikování ovlivňuje mnoho faktorů, například vstřikovací tlak a dotlak, doba dotlaku, doba dochlazení, doba plnění formy, tvarová náročnost výrobku a další. Tyto faktory ovlivňující výslednou jakost byly již pečlivě zkoumány a jejich vliv na výsledný výrobek byl již představen v mnoha pracích. Tato práce se zabývá konkrétním dílem pro firmu BEHR Czech s.r.o. Jedná se o víko chladiče viz. obrázek 1.1. Firma BEHR byla založena v roce 1905 panem Juliem F. Behrem v německém Stuttgartu a nyní je předním světovým dodavatelem klimatizací a chladících zařízení motoru pro automobilový průmysl. Firma BEHR se řadí mezi evropské špičky v oboru a zaměstnává 20.000 lidí v Asii, Severní a Jižní Americe, Evropě a Jihoafrické republice.



Obrázek 1.1 - Umístění víka chladiče na motoru automobilu

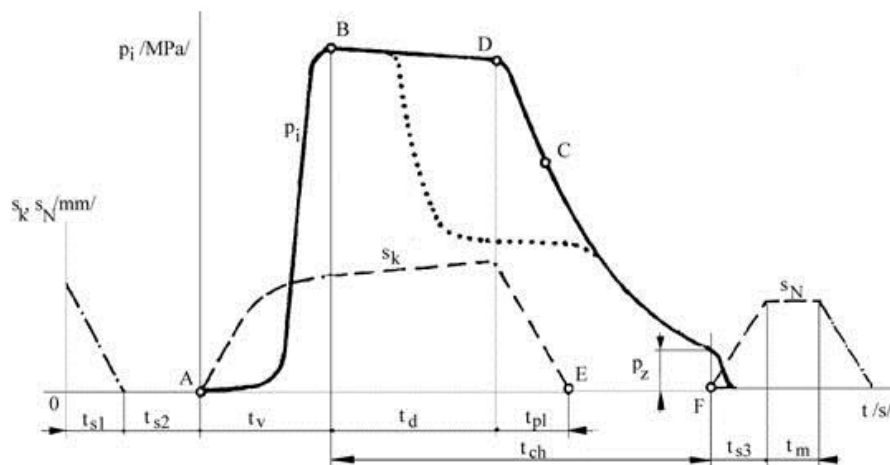
2 TEORETICKÁ ČÁST

Vstřikování plastů je v dnešní době nejrozšířenější technologií pro zpracování platů, která umožňuje vyrábět tvarově náročné součásti či jejich dílčí díly. Vyráběné komponenty se vyznačují dobrou rozměrovou a tvarovou přesností. Jedná se o cyklický, diskontinuální proces, kde materiál není nikdy z termodynamického hlediska v rovnováze. Procesní podmínky jako teplota, doba procesu či rychlost deformace se během cyklu rychle mění a pokaždé je na jiné úrovni. Ideálním stavem by bylo dosažení termodynamicky rovnovážného stavu ve výrobku již při otevření formy.

Principem této technologie je roztátí granulátu za pomoci tepla a tření uvnitř vyhřátého pístu. Následným pohybem šneku je tato tavenina dopravená do dutiny formy, kde po jejím vyplnění chladne. Celý cyklus se poté opakuje.

2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS /1/,/2/,/3/,

Vstřikovací cyklus je přesně popsán termodynamický děj, během kterého prochází plast neizotermickým procesem. Aby bylo možno tento proces definovat, je nutné zvolit počáteční bod cyklu. Vhodné je volit jako tento bod impuls k uzavření formy. Na počátku je dutina formy prázdná a forma je otevřená. Při zahájení cyklu dojde k přisunu pohyblivé části formy k pevné a následnému zvýšení síly tak, aby došlo k jejímu uzamčení. Uzamčení formy je nanejvýš prioritní, neboť by vlivem tlaku vstřikovaného materiálu mohlo dojít k otevření formy, pokud by nebyla dostatečně uzamčena velkou silou. Průběh tlaků v závislosti na čase plnění dutiny formy je vidět na obrázku 2.1. Po uzavření formy dochází k přisunutí vstřikovací jednotky. Tato pohybem šneku, který je prozatím pouze axiální, dopravuje taveninu do dutiny formy.



Obrázek 2.1 - Průběh tlaků během vstřikovacího cyklu

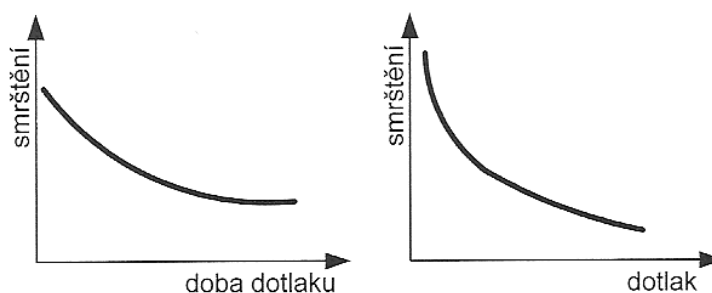
- S_k – doba, po kterou se pohybuje šnek
- S_N – doba potřebná k pohybu nástroje
- t_{s1} – strojní čas, který je zapotřebí pro přisunutí formy silou F_P a její následné uzavření výrazně vyšší silou F_U
- t_{s2} – doba potřebná k přisunutí tavné komory k formě
- t_v – doba, po kterou se dutina formy plní taveninou, počátek je v bodě A (přisun šneku – plnění taveninou) konec v bodě B (tlak dosahuje svého maxima)
- t_{ch} – doba po kterou dochází k chladnutí taveniny, (končí s otevřením formy) v bodě C dochází k zatuhnutí vtokové soustavy, tento čas zabírá největší prostor ve vstřikovacím cyklu
- t_d – doba trvání dotlaku (její konec může být až v bodě C)
- t_{pl} – po ukončení fáze dotlaku nastává plastifikace následující dávky, plastifikace končí v době E, kde dochází k zastavení rotace šneku viz.

2.2 PRACOVNÍ FÁZE STROJE

- t_{s3} – jedná se o strojní čas potřebný k otevření formy, počátek je v bodě F
- t_m – doba potřebná pro manipulaci s výrobkem

V okamžiku naplnění formy roztaveným materiálem je tavenina stlačena a tlak dosáhne svého maxima. Při následném chladnutí výrobku uvnitř formy, které

je způsobené odvodem tepla v dotykové vrstvě mezi vstříknutým materiálem a formou, dochází k smrštění. Smrštění je nežádoucí, může způsobovat propadliny a jiné defekty navíc mění objem součástí. Využíváme tedy dotlaku, který tyto nežádoucí prvky odstraňuje. Dotlakem se rozumí dodatečný přísun taveniny do formy. Dopravená tavenina takto kompenzuje smrštění. Dotlak je buď izobarický nebo izochorický, toto rozdělení je z toho důvodu, že může mít po celou dobu hodnotu maximálního tlaku nebo se může hodnota tlaku snižovat. Materiál použitý při dotlaku se nachází před šnekem, toto místo se nazývá polštářem. Vzhledem k chladnutí materiálu ho nesmí být v polštáři velké množství, aby nedošlo k jeho zamrznutí. Většinou se jedná o 0,1 nebo 0,15 krát průměr šneku. Závislost smrštění na době dotlaku a na dotlaku jako takovém je patrná z obrázku 2.2.



Obrázek 2.2 - Vliv dotlaku na smrštění

2.2 PRACOVNÍ FÁZE STROJE /3/,/4/,/5/

- **Plastifikační fáze** – základním předpokladem pro dosažení ideálního vyplnění dutiny formy je dodání taveniny, která je teplotně i viskozitně homogenní. Toho dosáhneme správným nastavením teplot na topných tělesech plastifikačního válce, správně zvolenými otáčkami šneku a jeho zpětným odporem. Pokud bychom vstříkovali do dutiny formy takto nehomogenní taveninu, výrazně by se zhoršila jakost povrchu a docházelo by snáze k nežádoucím jevům, jako jsou například studené spoje, vnitřní pnutí, nerovnoměrná tvorba makromolekulární struktury atd. Průběh plastifikační fáze začíná zpětným pohybem šneku, který rotuje. Šnek nabírá novou dávku granulátu, kterou plastifikuje a přemísťuje před sebe. Při svém pohybu

vzad musí šnek překonat tzv. protitlak, který svojí velikostí určuje dobu plastikace. Pokud by byl protitlak příliš velký, mohlo by dojít i k degradaci plastu. Plast je ohříván pomocí topných těles, která předávají svojí teplotu plastu přes stěnu komory a zároveň třením vzniklým v prostoru mezi šnekem a komorou.

- **Vstřikovací fáze** – během této fáze dochází k plnění tvarové dutiny formy termicky homogenní taveninou v ideálním případě tak, aby rychlost čela proudící taveniny byla v každém průřezu tvarové dutiny formy konstantní.
- **Rychlost vstřikování** – určuje dobu, po kterou se dutina formy plní taveninou. Má vliv na výsledný povrch výrobku. Rychlost je nutné optimalizovat, aby nedocházelo k příliš vysokým smykovým napětím na povrchu výstřiku. Při vstřikování materiálů, u kterých byla použita částicová plniva, je vhodnější volit nižší rychlost vstřikování spolu s vyšší teplotou taveniny. Materiály s vláknitými plnivý vstřikujeme naopak s velkou vstupní rychlostí.
- **Dotlaková fáze** – musíme jí volit, tak aby jednotlivé parametry (doba dotlaku, tlaková úroveň dotlaku, profil dotlaku) byly optimální a to znamená, že musíme dopravit požadované množství taveniny, tak abychom zajistili správné vykopírování tvarů formy včetně dezénů atp. Správnost dotlaku lze určit z konstantní velikosti polštáře (prostor s taveninou před šnekem) mezi jednotlivými cykly.
- **Fáze ochlazovací** – začíná již při samotném plnění formy a končí při vyjmutí výrobku z ní. Při vyjmutí musí být výrobek tak tuhý, aby nedošlo k jeho deformaci během vyjmutí z formy vyhazovači.

2.3 DEFORMACE A SMRŠTĚNÍ VÝROBKU /3/,/6/,/7/,/8/,/9/

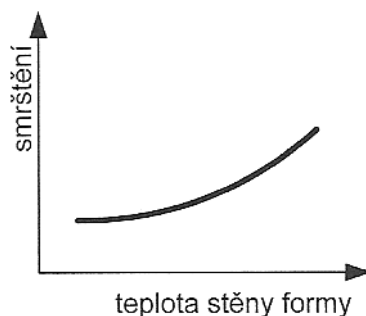
Pokud mluvíme o deformaci a smrštění, musíme definovat jasný rozdíl mezi těmito nežádoucími prvky výroby. Deformací výrobku rozumíme změnu tvaru, aniž by došlo ke změně objemu výrobku. Pokud dojde, ke změně objemu jedná se o smrštění, které vzniká v důsledku krystalizačních změn, tepelné kontrakce a rozpínivosti plastů. Smrštění ovlivňují všechny parametry vstupující do výrobního

procesu tj. vstřikovací materiál, forma a výrobní technologické parametry a procesní parametry. Se smrštěním musí konstruktér počítat a využívá k tomu moderní výpočtové a simulační programy, proto je výrobek navržen větší o přídavek na smrštění. Smrštění také lze zabránit pomocí přidání vhodného plniva. Plniva lze rozdělit na nevyztužující (minerální) a vyztužující. Nevyztužující to jsou například talek, uhličitán vápenatý nebo skelné kuličky – balotina. Vyztužující což jsou vláknitá plniva jako skleněná, aramidová, uhlíková, kevlarová vlákna. Ta ale s porovnáním částicových plniv výrazně ovlivňují anizotropii materiálu. Skelná vlákna, u kterých jeden rozměr (délka) výrazně překračuje jiný (průměr a to v poměru cca 10:1) ovlivňují smrštění pouze ve směru vláken a to vzhledem k orientaci ve výrobku. Proto se jako vhodnější jeví použití globulárního skla, které je stejně velké ve všech třech osách a tak zamezuje smrštění ve všech směrech. Navíc vliv vláknitého plniva je nejednoznačný. Obsah plniva nad 25% nemá u semikrystalických materiálů výrazný vliv. Tento fakt dokládá Tabulka 2.1 - Vliv vláknitého plniva na smrštění, smrštění pro materiál PA 66 se skelnými vlákny.

Tabulka 2.1 - Vliv vláknitého plniva na smrštění

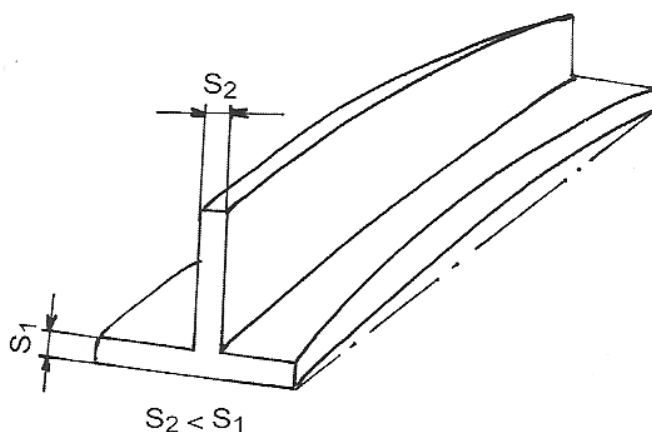
Typ PA66	Smrštění podél toku/kolmo na tok
PA66 15% SV	055,/1,38
PA66 25% SV	0,42/1,34
PA66 30% SV	0,35/1,22
PA66 35% SV	0,35/1,20

Pochopitelně záleží i na volbě vhodného materiálu vzhledem k jeho nasákavosti, navlhavosti a teplotám, kterým bude výrobek vystaven během plnění své funkce. Výsledné smrštění výrobku po vyhození vyhazovači z formy je ovlivněno také teplotním profilem měnícím se během chlazení a teplotou stěny tvárníku. Ovlivněním teploty tvárníku lze dosáhnout rozdílných smrštění. Velikost smrštění roste s teplotou na povrchu tvárníku. Pokud má tvárník relativně menší teplotu, chladne zde materiál rychleji a dojde k menšímu dodatečnému smrštění, než v případě vyšší teploty tvárníku. Závislost smrštění na teplotě povrchu formy je na obrázku 2.3.



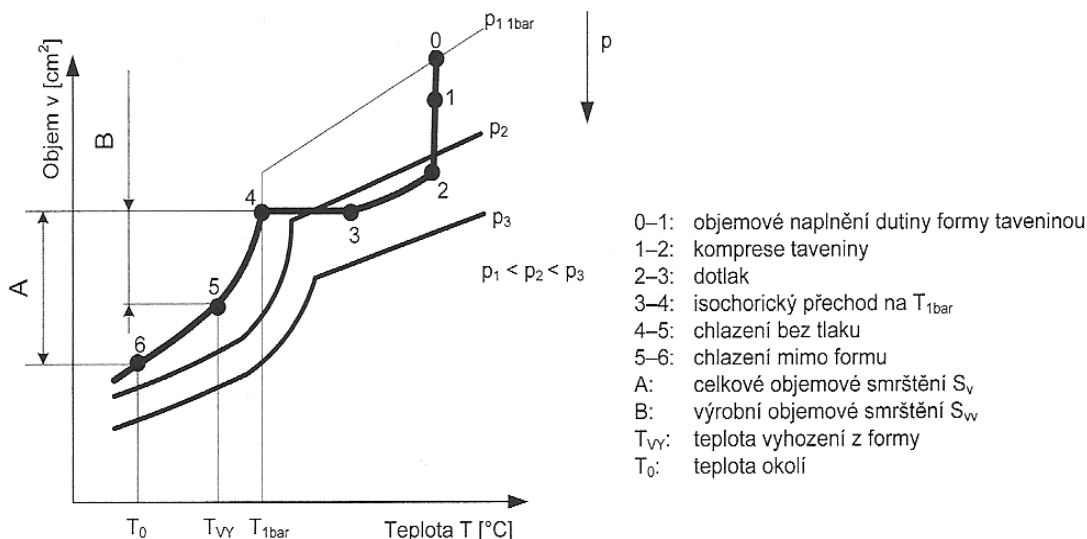
Obrázek 2.3 - Závislost smrštění na teplotě tvárníku

Zásadní vliv na smrštění či deformaci mají žebra a jejich rozmístění na výrobku. Tloušťka žebra by měla být vždy menší než tloušťka stěny, ke které je žebro napojeno. To z toho důvodu aby nedošlo k nahromadění materiálu v daném místě a případnému vzniku lunkrů. Nežádoucím efektem této konstrukční úpravy je rozdílný potenciál teplot během chladnutí a tím vzniklá deformace součásti jak je vidět na obrázku 2.4.



Obrázek 2.4 - Vliv konstrukčního žebra na deformaci

Výrobní smrštění je takové smrštění, ke kterému dochází během prvních 16 až 24 hodin po jeho vyhození z formy a skladováním ve vhodných podmínkách (v suchém prostředí kde nebude hrozit nasákavost). V praxi je nejdůležitější informace o objemovém smrštění S_V . Jedná se o objemovou změnu ΔV mezi body 4 a 6 –viz. obrázek 2.5 ke kterému dochází již během plnění formy.



Obrázek 2.5 - Průběh objemové smrštění v průběhu plnění dutiny formy

Toto smrštění lze určit ze vztahu (2.1)

$$S_{VV} = \frac{V_F - V_V}{V_F} \quad (2.1)$$

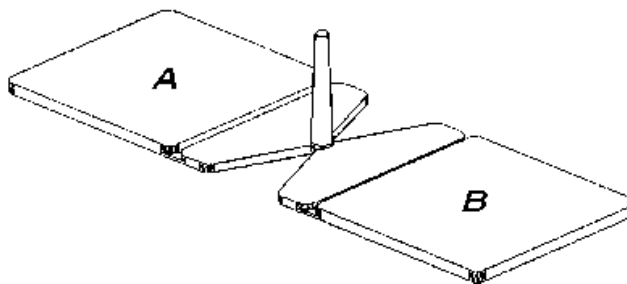
kde S_{VV} = výrobní smrštění, V_F = objem tvarové dutiny formy za teploty okolí 23°C, V_V = objem výstřiku za teploty 23°C;

V praxi se využívá zjednodušený vztah (2.2), který je založen na znalosti lineárního smrštění vyjádřeného v obecné podobě

$$S_L = \frac{L_F - L_V}{L_F} \quad (2.2)$$

kde S_L = lineární smrštění, L_F = rozměr formy při teplotě 23°C, L_V = rozměr výstřiku při teplotě 23°C;

Hodnoty lineárního smrštění jsou normalizované a jsou udávány výrobcem dle mezinárodně dohodnuté metodiky zpracované do příslušné normy. Je to norma ISO 294-4 Plasty – Vstřikování zkušebních těles z termoplastu. Je zřejmé, že se jedná o hodnotu smluvní neboť tvar a rozměr zkušebního tělesa je stanoven domluvou. Jedná se o dvojnásobnou destičku o rozměrech 60 x 60 mm a tloušťce 2mm – viz. obrázek 2.6. Technologické parametry pro výroby této zkušební destičky jsou dány stejně tak jako konstrukce formy, vtokový rozvod atd.



Obrázek 2.6 - Ukázka normalizované desky pro měření smrštění

Dodatečné smrštění je takové smrštění, ke kterému dochází v dlouhodobém časovém úseku po vyrobení dané součásti. Toto smrštění závisí na podmínkách skladování či při uložení za vyšších teplot. Velikost dodatečného smrštění (dosmrštění) je ovlivněna velikostí výrobního smrštění. Pokud je výrobní smrštění malé, tak dodatečné smrštění vzroste a naopak. Dodatečné smrštění lze jednoduše určit ze vztahu (2.3)

$$D_S = \frac{L_{VS} - L_{VP}}{L_{VS}} \cdot 100\% \quad (2.3)$$

kde D_S = dodatečné smrštění, L_{VS} = výchozí rozměr výstřiku před expozicí (mm), L_{VP} = konečný rozměr výstřiku po expozici (mm).

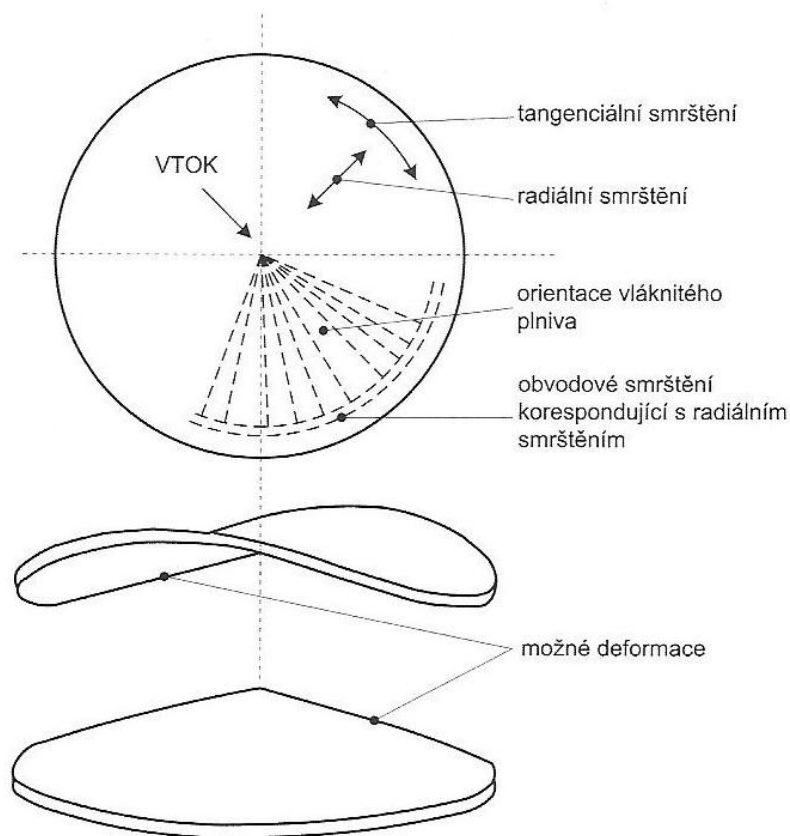
Dosmrštění vzniká v důsledku relaxace makromolekul a u semikrystalických materiálů i s případnou dokrystalizací. Pokud u součásti dochází navíc k adsorpci vody, tak se výchozí rozměr zvětšuje a tento jev se sčítá s dosmrštěním.

Celkové smrštění součásti se poté zjistí ze vztahu (2.4)

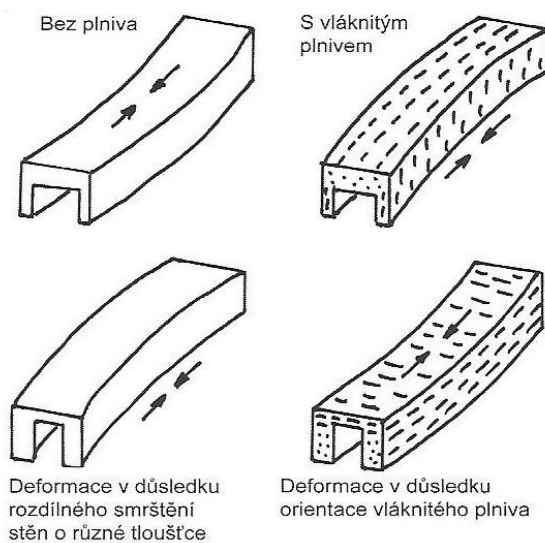
$$S_T = \frac{L_F - L_{VP}}{L_F} \cdot 100\%. \quad (2.4)$$

Smrštění má zásadní význam pro vznik deformace. Deformace plastové součásti je v podstatě součet všech dílčích smrštění (lineárních, objemových, v důsledku napěťových trhlin a vnitřního pnutí), která jsou ovlivněna tvarem součásti a procesními parametry. Semikrystalické termoplasty mají kvůli své vnitřní struktuře (uspořádání makromolekul) větší hodnotu celkového smrštění než amorfny plasty a jsou proto mnohem náchylnější k deformaci. U semikrystalických materiálů má navíc velký vliv na výslednou deformaci přítomnost vláknitých plniv. Plniva jsou

orientována stejným směrem, jako je tok taveniny v dutině formy. To ovšem významným způsobem mění směr a působení vnitřních napětí ve výrobku. Názorný příklad je vidět na obrázcích 2.7 a 2.8.



Obrázek 2.7 - Deformace kruhové desky z termoplastu plněného skelným vláknem, se středovým tokem



Obrázek 2.8 - Rozdílné chování plněných a neplněných materiálů

Vnitřní pnutí, které ovlivňuje deformaci, lze rozdělit do pěti jednotlivých druhů, které vznikají z rozdílných příčin.

- **Tepelné pnutí** – to má nejvýraznější vliv na rozměr součásti. K tepelnému pnutí dochází během chladnutí výstřiku, kde nejvíce chladne vrstva, která se dotýká povrchu dutiny formy a teplota směrem ke středu výrobku klesá pomaleji. Na povrchu výstřiku vrstva materiálu zamrzá a šíří se směrem ke středu stěny. Tím vzniká na povrchu tlakové napětí a uvnitř stěny výstřiku tahové. Působením těchto napětí může dojít ve výstřiku k vzniku lunkrů, ředin či vakancí.
- **Pnutí krystalizační** – vzniká u semikrystalických materiálů. Důvodem jsou rozdílné podmínky krystalizace, které jsou zapříčiněny rozdílnými teplotními potenciály v jednotlivých vrstvách a objemech výstřiku.
- **Pnutí deformační** – nastává po nevhodném vyhození výstřiku z formy. To může být zapříčiněno nesprávně umístěnými vyhazovači, které mohou mít i špatně zvolenou konstrukci nebo špatně konstrukčně řešenými úkosi. Výsledkem je mechanické namáhání výstřiku, který se tak deformuje.
- **Pnutí z nehomogenní orientace** – dochází k němu během tuhnutí ve formě, kde vzájemně sousedící vrstvy tuhnoucí hmoty si blokují elastické deformace. Takto pak vznikají nehomogenní rozměrové změny.
- **Pnutí z přeplněné formy** – dochází k němu v okolí vtoku, kde může docházet k většímu stlačení taveniny důsledkem nevhodně zvolených technologických parametrů či neúměrného dotlaku.

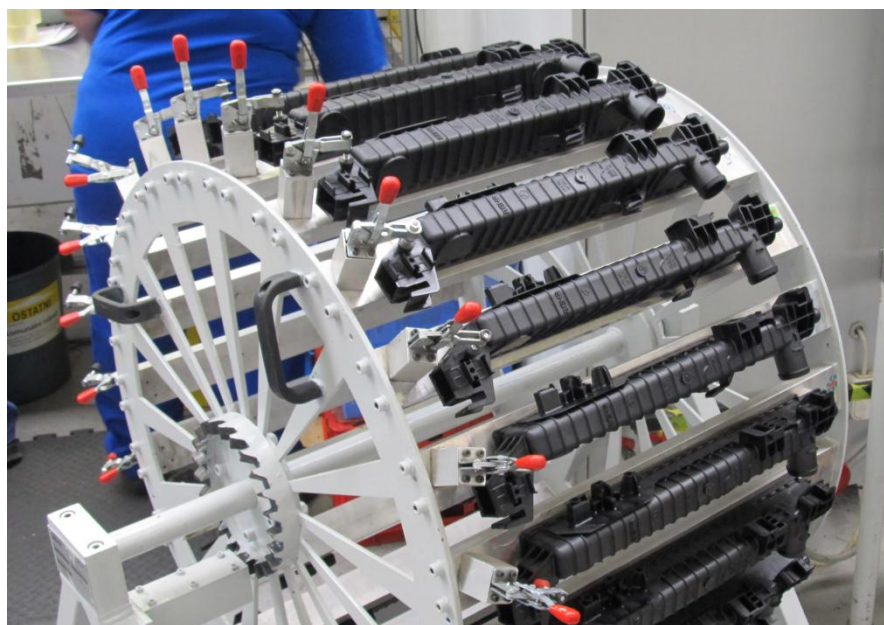
Z důvodů výše zmíněných nežádoucích aspektů, které mohou způsobovat vady na výsledném výrobku je vhodné před samotnou výrobou provést simulace. Tyto simulace nám odhalí možnost vzniku nežádoucích strukturálních změn ve výrobku a umožní nám přesněji pochopit děje, které probíhají během vstřikování konkrétního dílu. Získáme tak možnost upravit konstrukci či technologické

parametry pro výrobu konkrétní součásti, ještě předtím než ji budeme vyrábět. Zamezíme tak případné nákladné úpravě vstřikovací formy nebo celé technologie.

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Cílem této práce je optimalizovat výrobu konkrétního dílu (víko chladiče, používaného pro vozy Mercedes S-Class) tak, aby nedocházelo k dodatečnému smrštění a následné deformaci na výrobku. Tato deformace následně znemožňuje použití dílu při montáži na hliníkové jádro jednotky chladiče. Plastový díl je vyráběn firmou BEHR CZECH s.r.o. v Mnichově Hradišti. Tento díl je vyráběn z polyamidu PA66 GF30 na vstřikovacím stroji ENGEL duo 700. Vzhledem ke druhu deformace a možnostem firmy BEHR CZECH s.r.o. je možné řešení chlazení jednoho z tvárníků tak, aby nedocházelo k nežádoucímu smrštění a následné deformaci. Tedy změna teploty části formy tak, aby byla teplota na vnějším povrchu víka chladiče vyšší než teplota povrchu ve vnitřní části dutiny.

Problém se smrštěním firma zatím řešila výrobou rozměrného dochlazovacího přípravku (viz. obrázek 3.1), na který musí operátor stroje, vyrobené díly upevňovat. Přípravek je používán v obměnách i pro jiné dílčí součásti. Toto řešení je neekonomické a snižuje efektivitu práce operátora. Zároveň dochlazovací přípravky zabírají významný prostor ve výrobní hale, a tak způsobují logistický problém při jejich manipulaci a jejich vhodném umístění v pracovních prostorech.



Obrázek 3.1 - Ukázka dochlazovacího přípravku

V rámci experimentálního měření byla provedena série testů změny teploty vnitřního tvárníku před vstříknutím materiálu. Udržet zkoušenou teplotu během

celého cyklu vstřikování nebylo možné vzhledem k vysoké teplotě taveniny (285°C), která obtéká celý chlazený tvárník. Ta je chlazená vzhledem k malé velikosti pouze jedním chladicím kanálem o průměru 8 mm. Maximální průtok v tomto kanálu byl pouhých 5 litrů/min. Korigování teploty povrchu tvárníku tedy probíhalo pomocí změny teploty chladicí kapaliny a dobou výdrže mezi jednotlivými vstřikovacími cykly. Bylo hodnoceno výsledné zúžení vany chladiče v závislosti na změně teploty tvárníku před vstříknutím materiálu. Měření probíhalo přímo ve firmě BEHR CZECH s.r.o. na stroji ENGEL duo 700, kde je použita dvojnásobná forma. Postup řešení problému a výsledky měření jsou uvedeny v následujících kapitolách.

3.1 TYP A CHARAKTERISTIKA MATERIÁLU /13/,/14/,/15/

Firma BEHR CZECH s.r.o. používá k výrobě dílčích dílů chladicích jednotek polykrystalický polymer polyamidu. Ve strojírenské výrobě má široké uplatnění například v chemickém, textilním a elektrochemickém průmyslu. Využívá se také u dopravních zařízení u kluzných ložisek, ozubených a šnekových soukolí, vaček, kladek, vodících lišt a dopravních válců. Firma BEHR CZECH s.r.o. používá PA66 GF 30, tento nylon je oproti běžnému PA 66 navíc vyztužen 30% skelných vláken. Získává tak zvýšenou mechanickou pevnost, tuhost a odolnost proti tečení a rozměrovou stálost. Materiál má zároveň výbornou odolnost vůči opotřebení, což znamená, že má vyšší provozní teploty.

Hustota materiálu je 1183 g/cm^3 nasákavost vodou je po 24/96 hodin ponoření ve vodě o teplotě 23°C 62mg. Teplota tání je 255°C a teplotní vodivost při 23°C činí $0,3 \text{ W/(K.m)}$.

Pevnost v tahu při přetržení je 110MPa, prodloužení při přetržení činí 6%, modul pružnosti v tahu je 7000MPa.

3.2 CHARAKTERISTIKA STROJE /12/,/15/

Vstřikování probíhá na vstřikovacím stroji ENGEL duo 700 (viz. obrázek 3.2Obrázek 3.2). Jedná se o velmi výkonný stroj, který je schopen vyvinout uzavírací sílu od 3500 do 7000 kN dle modelové řady. Na stroji jsou užity dvojnásobné vstřikovací formy, dochází tak ke zvýšení efektivity práce a úspoře prostoru. Ve firmě BEHR CZECH s.r.o. se upevňují formy pomocí rychloupínek, je však možné

také využití upnutí formy pomocí hydraulického polštáře. Dobu cyklu je možné snižovat díky dvěma diagonálně uloženým vysokorychlostním válcům.



Obrázek 3.2 - ENGEL duo 700

Firma BEHR CZECH s.r.o. využívá 6 těchto strojů pro celou škálu výroby, které nabízí svým zákazníkům. Upřesňující informace jsou v

Tabulka 3.1

Tabulka 3.1 - Informace o stroji ENGEL duo 700

Uzavírací jednotka		
Uzavírací síla	kN	7000
Otevírací síla	kN	393
Dráha otevírání	mm	1400
Min. vestavná výška formy.	mm	450
Vestavná výška formy max.	mm	1150
Odstup desek max.	mm	1850
Velikost upínací desky hor. x vert.	mm	1420x1420
Hmotnost nástroje max.	kg	10100
Dráha vyhazovače	mm	250
Síla vyhazovače	kN	110
Běh naprázdno (Euromap 6) Čas	sec	3
Běh naprázdno (Euromap 6) Zdvih	mm	700
Vstřikovací jednotka		
Průměr šneku	mm	80
Dráha dávkování	mm	390
Max. objem zdvihu	cm ³	1960
Max. otáčky šneku	r/min	140
Plastikační výkon (třízónový)	g/sec	59
Proud při vstřiku	cm ³ /s	420
Spec. vstřikovací tlak	bar	2300
Zvýšený specifický vstřikovací tlak	bar	2300
Dráha trysky	mm	600
Standartní topný výkon	kW	53
Počet topných zón včetně trysky		6
Hnací výkon čerpadla	kW	65

3.3 TECHNOLOGICKÉ PARAMETRY VÝROBY

Technologické parametry jsou upravovány dle konkrétního výrobku. Pro výrobu víka chladiče s označením K0543 je dáno: teplota dopravované směsi je udržována ve válci na 285°C. Pro nastavení teplot stroje platí nastavení tolerance $\pm 10^\circ\text{C}$. Uzavírací síla formy je 4300 až 4700 kN. Hydraulický vstřikovací tlak činí 98 až 102 barů a zpětný tlak je udáván 5 až 6 barů. Jedna plastifikační dávka zaujímá ve válci 113 až 117 mm. Doba chlazení ve formě je 30 - 31 sekund, doba výstřiku 3 - 4 sekundy, doba dotlaku 2,5 – 3 sekundy. Chlazení ve všech devíti kanálech formy zajišťuje neustále protékající voda o teplotě 50°C. Granulát je sušen při teplotě 80°C po dobu jedné hodiny v zařízení Colortronik.

3.4 MĚŘENÍ TEPLOTY FORMY /11/

K měření teploty tvárníku byl použit dotykový teploměr Testo 922 (viz. obrázek 3.3) s rozmezím měření -50°C $+1000^\circ\text{C}$ s tolerancí ± 1 digit ($\pm 0,5^\circ\text{C}$) současně byl pro srovnání použit i universální infračervený teploměr Testo 830-T4, který však vykazoval odchylku od dotekového teploměru. Tato odchylka je způsobena vznikem nevhodných odrazů infračerveného paprsku od naleštěného povrchu tvárníku. Měření probíhalo za provozu stroje.



Obrázek 3.3 - Teploměr Testo 922

Po dokončení vstřikovacího cyklu se otevřel krycí rám a měřila se teplota přímo na daném tvárníku. Po docílení požadované teploty se krycí rám opět zavřel a okamžitě se spustil nový cyklus. Aby bylo toto možné, muselo se po dokončení každého cyklu, po kterém následovalo měření, restartovat cyklus a vynulovat chyby, které stroj hlásil z důvodu vstoupení do stroje a omezení jeho funkce. Nejdelší časová prodleva mezi cykly však nesměla přesáhnout 2min, jinak by mohlo dojít k zatuhnutí rozehrátého materiálu v trysce. Dobu časové prodlevy bylo nutné prodlužovat v závislosti na klesajících teplotách měření. Důvodem bylo nedostatečné chlazení vodou, jejíž minimální teplota mohla být 16°C a malý průtok vody chladicím kanálem. Proto bylo zapotřebí ke snížení teploty tvárníku prodloužit dobu nájezdu formy. Hodnoty získané měřením jsou uvedeny v příloze.

3.5 CHLAZENÍ TVÁRNÍKU /10/

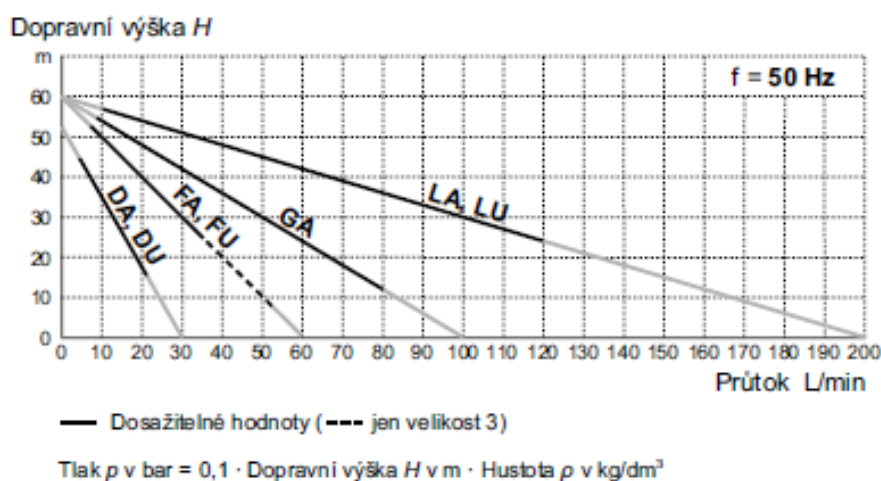
Tvárník tvořící vnitřní dutinu výrobku je umístěna na pohyblivé části formy a bylo nutné chladit externě, tzn. byla odpojena od centrálního chladicího okruhu stroje a napojena na uměle vytvořený chladicí okruh, který byl napojen na tepelný výměník firmy HB THERM. Tepelný výměník HB THERM series 5 typ 100 X2 (viz. obrázek 3.4) má maximální výkon FA viz. obrázek 3. Obrázek 3.5, vstupující kapalinou je voda o teplotě 16°C.



Obrázek 3.4 - Tepelný výměník HB - THERM 100 X2 series 5

Výměník může ohřívat vodu až do teploty 100°C a spodní teplotní hranice, je limitován teplotou vody vstupující do okruhu. Okruh vytvořený tlakovými

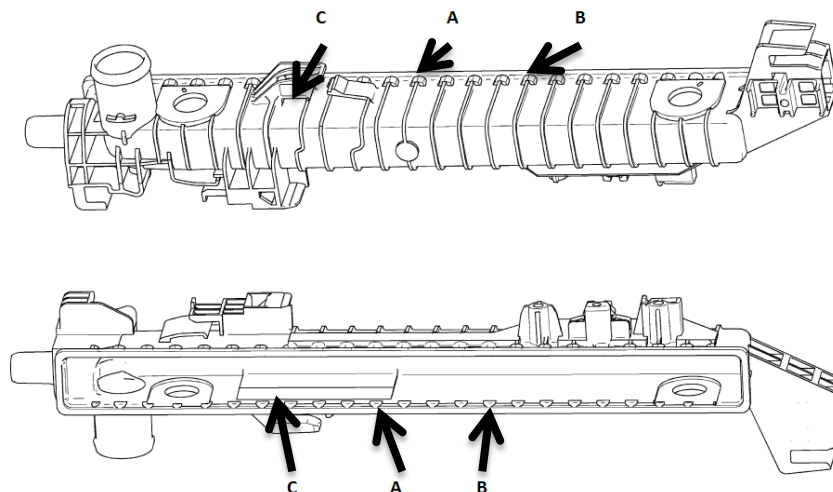
hadicemi byl co nejmenší, aby nedocházelo k tlakovým ztrátám. Tvárník vzhledem ke své velikosti je chlazen pouze jedním kanálem o malém průměru a tak nebyl použit maximální možný průtok dodávaný čerpadlem. Hodnota dosaženého průtoku byla udržována na svém maximu 5 l/min. Zbytek formy tedy nepohyblivá i pohyblivá část je napojena na vnitřní chladicí okruh stroje. Tímto okruhem cirkuluje voda, která chladí formu na 50°C. Měřením bylo zjištěno, že části formy chlazené vnitřním okruhem stroje mají před vstřikem materiálu teplotu 53°C, a to z důvodu maximálního vytížení stroje. Externě chlazená část byla nejprve schlazena na 35°C a při této teplotě byly vyrobeny tři vzorky, poté se teplota zvýšila přibližně o 5°C a opět byly odebrány tři vzorky, toto se 3krát opakovalo až do teploty 50°C. Přesné hodnoty teploty tvárníku a teploty protékající kapaliny jsou uvedené v příloze.



Obrázek 3.5 - Výkon čerpadla v temperačním výměníku je udáván typem FA, kterým disponuje firma BEHR CZECH s.r.o.

3.6 MĚŘENÍ ROZMĚRU VÝROBKU

Při měření vzorků byla vhodně zvolena tři místa A, B, C (viz. obrázek 3.6), u kterých bylo prováděno měření.



Obrázek 3.6 - Víko chladiče pro Mercedes S-Class

Toto měření bylo prováděno posuvným měřidlem značky Mitutoyo s garantovanou přesností dle DIN 862 tedy 0,02 mm do 130mm a 0,03 mm do 200 mm.

Na každém místě byly v daný čas opatřeny tři naměřené rozměry. To z toho důvodu aby byl získán co nejpřesnější rozměr, který bude výsledkem aritmetického průměru získaných rozměrů. Měření bylo prováděno v časové posloupnosti od okamžiku výroby součásti viz. příloha. Výsledkem těchto hodnot jsou grafy jednotlivých součástí, které vyjadřují závislost deformace funkčního rozměru víka chladiče na čase.

Měření bylo prováděno na 12 vzorcích, které jsou rozděleny do tří skupin (I, II, III), kde každá skupina obsahuje 4 vzorky. Tyto 4 vzorky se mezi sebou liší v teplotě formy (tvárníku), do které byl vstříknut materiál.

- **Skupina I** – jsou vzorky, které prošli standartním procesem firmy BEHR. Ty jsou po odebrání výrobku operátorem stroje upevněny na dochlazovací přípravek a poté ještě opatřen víčkem (viz. obrázek 3.7), které má eliminovat případné dodatečné deformace způsobené dodatečným smrštěním výrobku ve skladišti.
- **Skupina II** – jsou vzorky, které byly opatřeny pouze víčkem (viz. obrázek 3.7), které má zabránit dodatečné deformaci.
- **Skupina III** – jsou výrobky, které neprošly žádnou dodatečnou dochlazovací operací a ani nebyly opatřeny víčkem pro rozměrovou stálost.

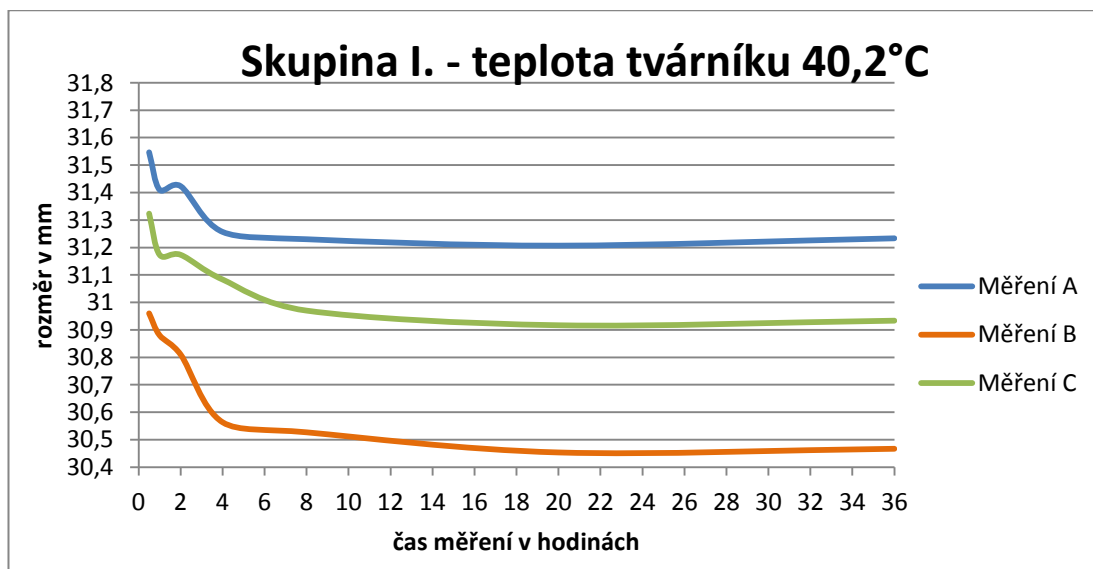


Obrázek 3.7 - víčko určené ke stabilizaci rozměru během skladování

Z výše uvedených tabulek pro naměřené hodnoty dvanácti dílů bylo vytvořeno dvanáct grafů. Z těchto grafů je patrné vidět změnu měřeného rozměru v závislosti na čase, což je podrobně rozebrané v diskuzi.

4 DISKUZE

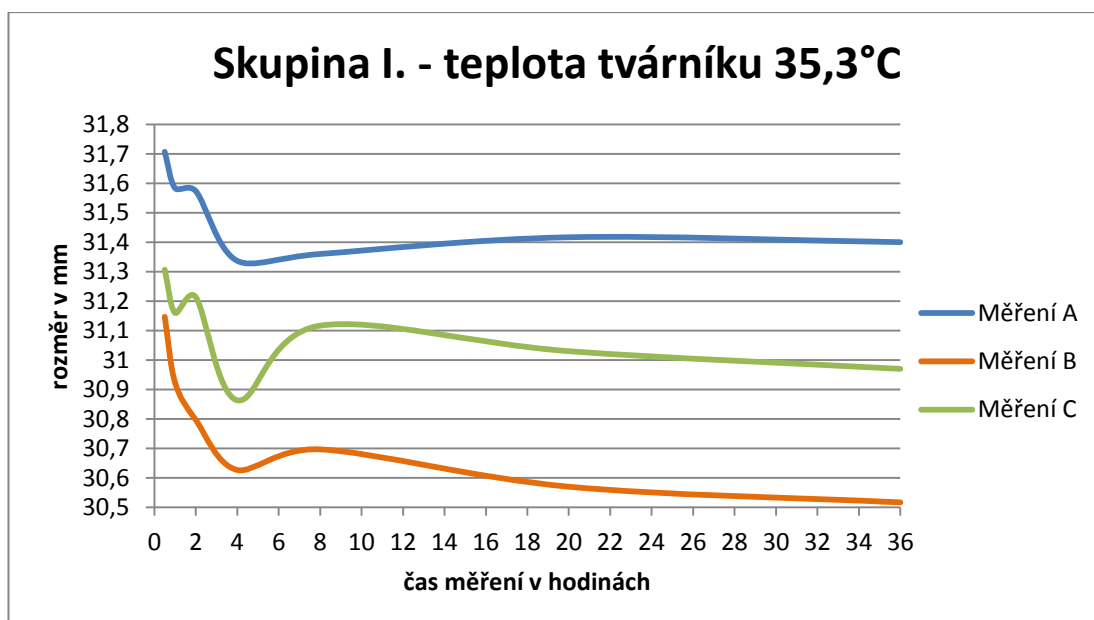
Grafy z první skupiny (viz. Graf 4.1, 4.2, 4.3, 4.4), tedy ty, které odpovídají výrobkům prošlým celým dochlazovacím procesem, udržují rozměrovou přesnost a jejich nejkritičtější hodnota neklesá pod 30,2mm. Přesto je rozptyl velikosti mezi místy měření značný. Tento rozměr by měl být v ideálním případě konstantní v celé délce výrobku.



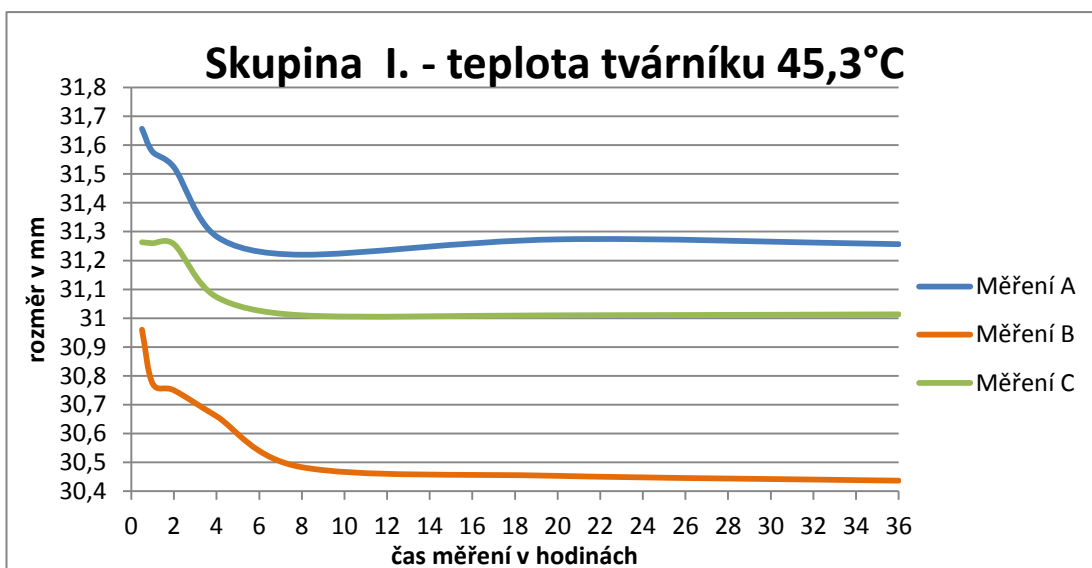
Graf 4.2 - Změna rozměru v závislosti na čase

Z křivek je patrné, že materiál nejintenzivněji pracuje během prvních tří hodin od vyrobení součásti. V časovém úseku mezi první a druhou hodinou od vyrobení dochází k výrazné změně v rychlosti deformace. Pravděpodobně je to zapříčiněno odebráním výrobku z dochlazovacího přípravku (viz. Graf 4.2), kde jsou výrobky umístěny jednu hodinu. Na tomto přípravku je deformace výraznější, protože dochází k převodu tepla z plastu na kovovou část přípravku. Zde se výrobek vlivem smrštění dostává na svou konečnou podobu. Tím je vzniká časová prodleva a v grafu je viditelná rozměrová stálost. Odebráním výrobku z dochlazovacího přípravku, poskytneme prostor pro další následné smrštění a tím i deformaci.

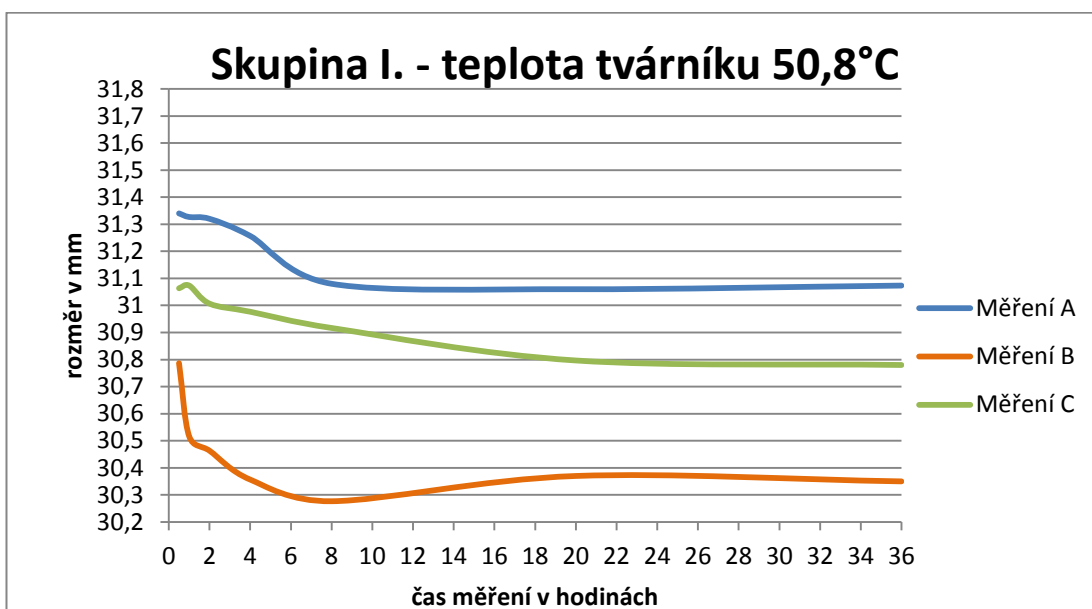
V grafu pro výrobek, kde byla teplota tvárníku při vstřiku 35,3°C (viz. Graf 4.1), je velmi výrazný posun k horním hodnotám rozměru. Tento nárůst rozměru je mezi čtvrtou a osmou hodinou od vyrobení. V tento čas docházelo k transportu součástí, které byly vystaveny nízkým teplotám okolí. Zřejmě tak došlo k podchlazení součástí a zastavení rehabilitace makromolekul. Tento nárůst je patrný v menší míře i u ostatních částí, ovšem v jiný čas. Záleží na čase vyrobení a následném transportu. Takto výrazná změna, jako je u Grafu 4.1, může být zapříčiněna nižší teplotou tvárníku. Díky ní nedošlo k hlubšímu propadu, tedy zmenšení rozměru, jako je tomu vidět u ostatních součástí ze skupiny I. v místě měření C. U ostatních součástí dochází k poklesu rozměru až pod hodnotu 30,4mm v závislosti na rostoucí teplotě tvárníku.



Graf 4.1 - Změna rozměru v závislosti na čase

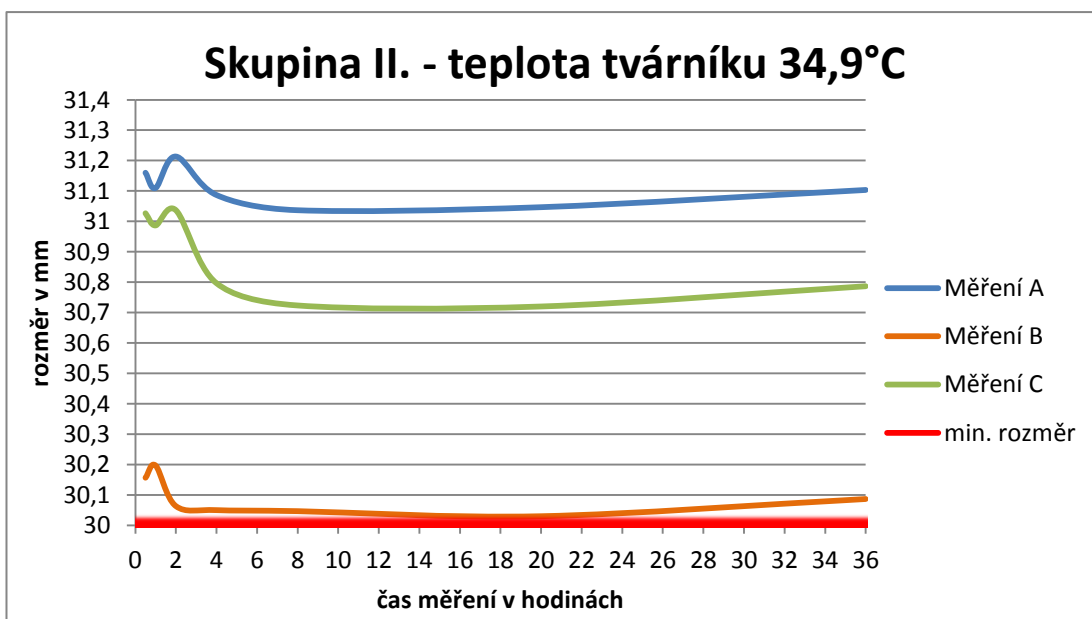


Graf 4.3 - Změna rozměru v závislosti na čase

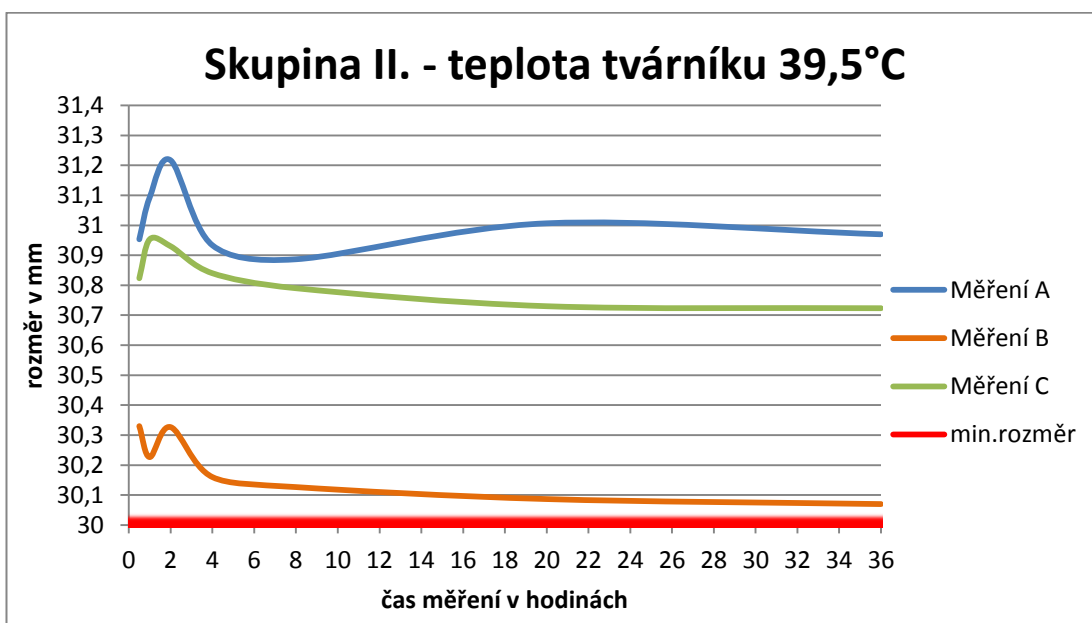


Graf 4.4 - Změna rozměru v závislosti na čase

Grafy určující výslednou deformaci v závislosti na čase pro výrobky ze skupiny II. (viz. Graf 4.5, 4.6, 4.7, 4.8) se vyznačují malou rozměrovou deformací, která ve většině případů nepřesahuje 0,2 mm. Výsledné rozměry jsou ale nižší než ve skupině I. Grafy deformace pro výrobek vstříknutý při teplotě tvárníku 34,9°C a 39,5°C (viz. Graf 4.5, 4.6) mají nejmenší rozměr, měřený v místě B nad hodnotou 30 mm a jsou tedy v rozměrové toleranci, která je udávána firmou BEHR CZECH s.r.o. Odchylka od výrobku v první skupině (viz. Graf 4.4) je tedy 0,2mm.

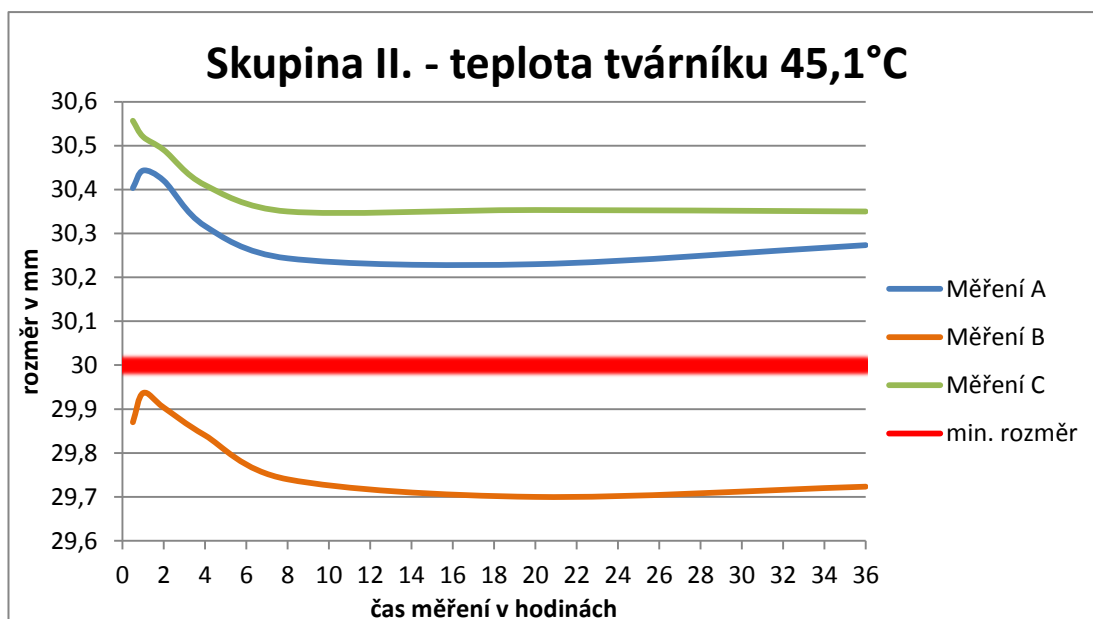


Graf 4.5 - Změna rozměru v závislosti na čase

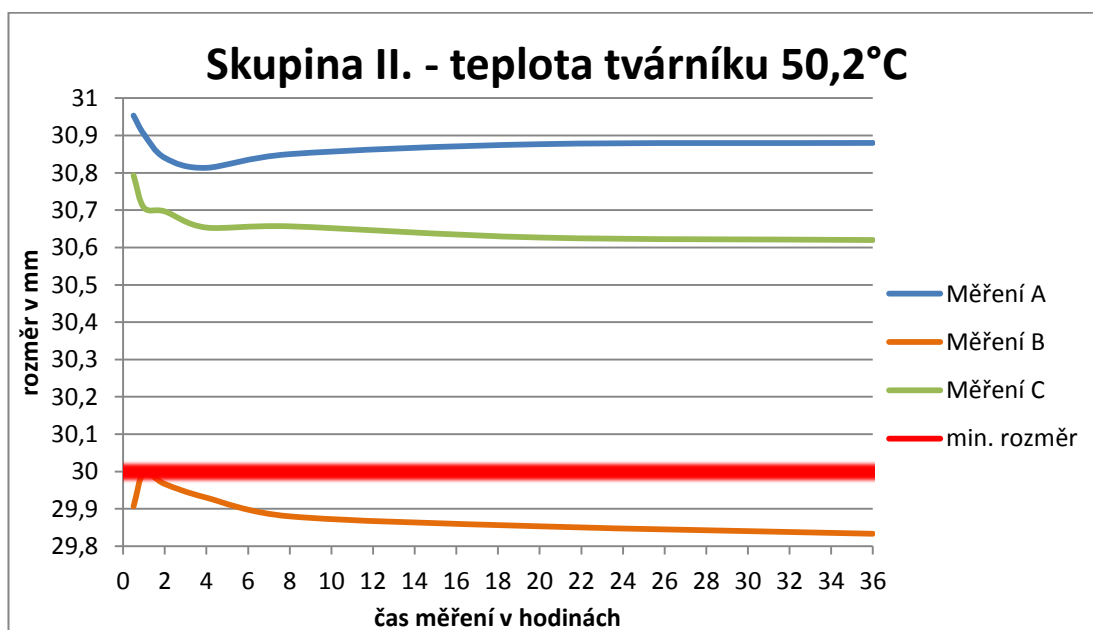


Graf 4.6 - Změna rozměru v závislosti na čase

Znatelný nárůst na počátku křivek deformace je způsoben právě nižší teplotou tvárničku. Materiál pracuje, dochází ke smrštění na vnější straně víka a k následné deformaci. Výrobky nejsou umísťovány na dochlazovací přípravek a jsou opatřeny pouze víčkem (viz. Obrázek 3.7) zajišťujícím rozměrovou stálost během skladování. U vzorků, které byly vyrobeny při vstřiku, byla teplota tvárničku nad 40°C. Tento nárůst již není tak znatelný a spodní hranice rozměrů spadá až pod hodnotu 29,8mm což je pro funkčnost výrobku nepřijatelné.

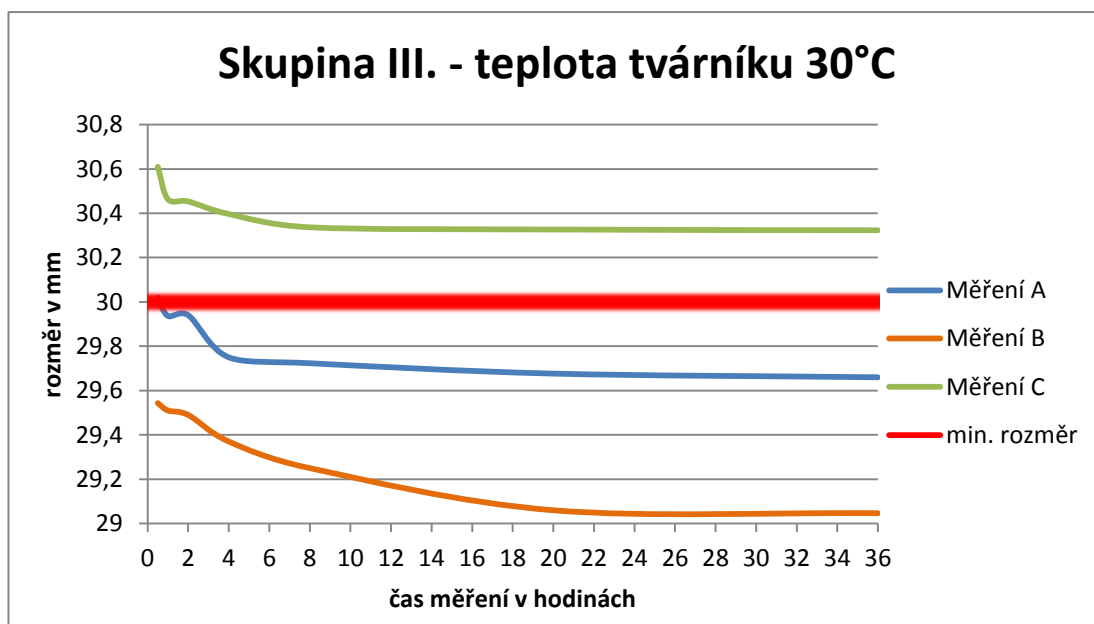


Graf 4.7 - Změna rozměru v závislosti na čase

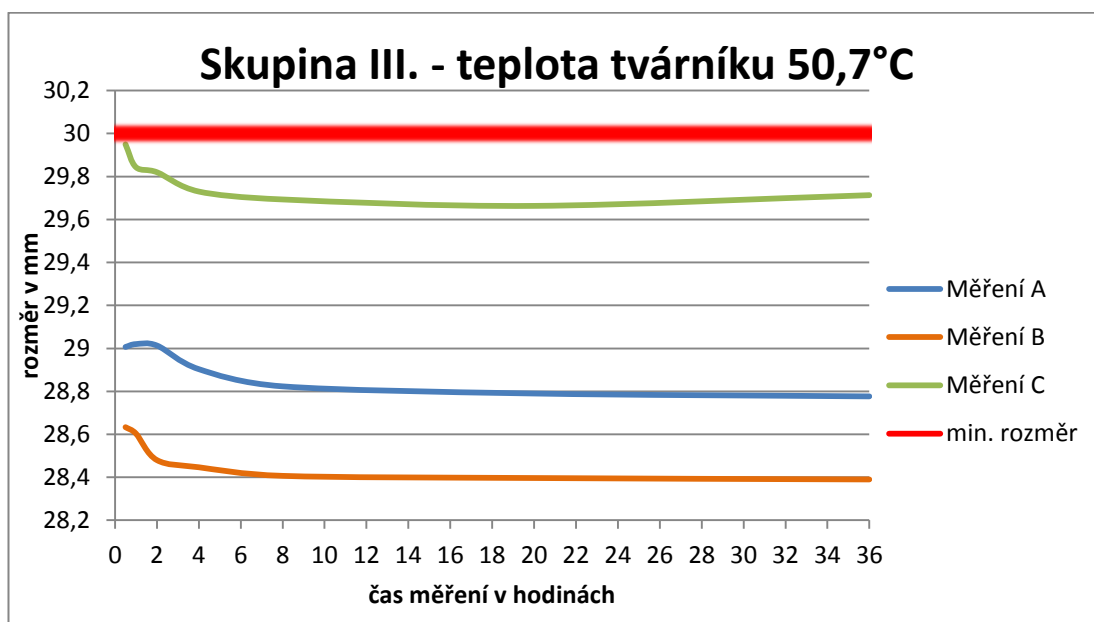


Graf 4.8 - Změna rozměru v závislosti na čase

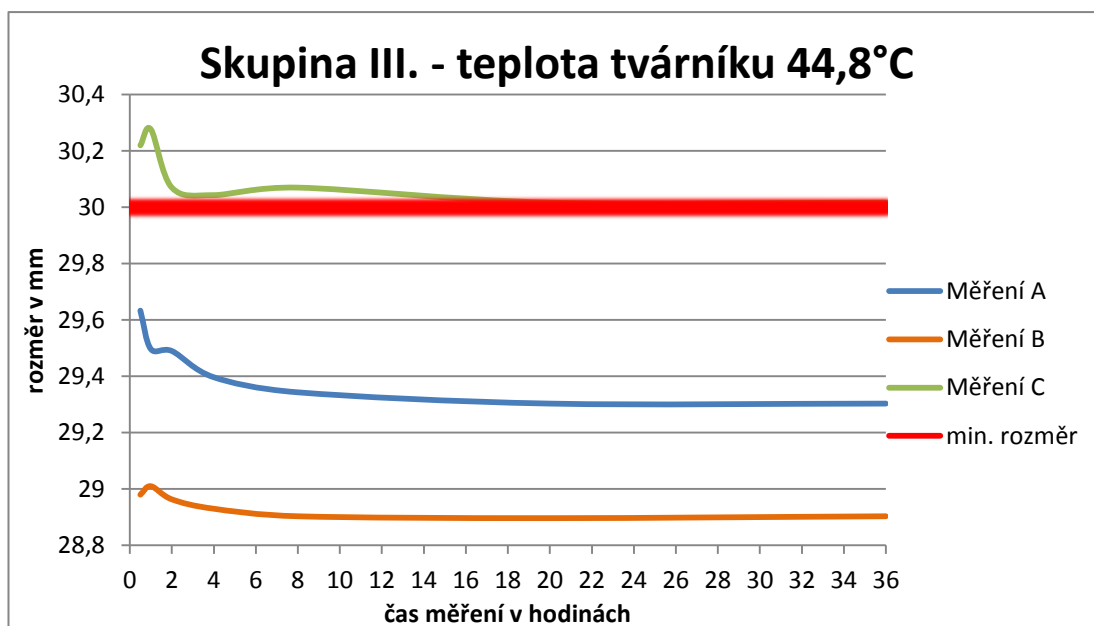
Z grafů pro skupinu III. (viz. Graf 4.9, 4.10, 4.11, 4.12) je viditelné, že spodní hodnoty měřeného rozměru se nacházejí pod hodnotou 29 mm a jsou tedy vyhodnoceny jako nevyhovující. Zde je patrný rozdíl ve velikosti spodního rozměru mezi vzorkem, který byl vyroben při teplotě tvárničku 30°C (viz. Graf 4.9) a vzorkem vyrobeným při teplotě tvárničku 50,7°C (viz. Graf 4.12). Tento rozdíl nám slouží jako vzorová ukázka vlivu teploty tvárničku.



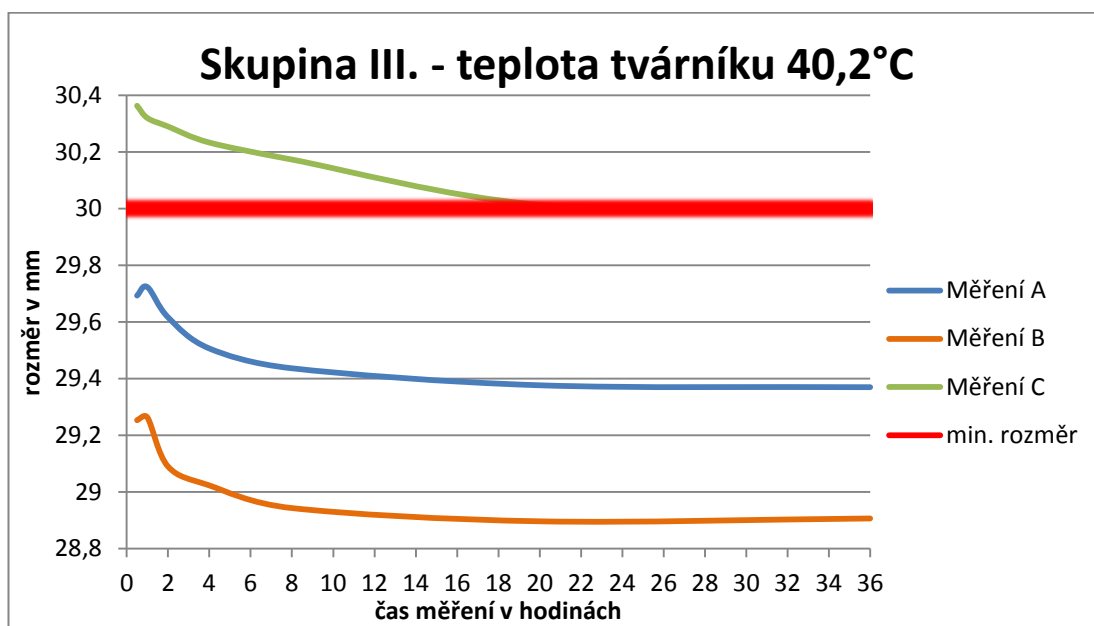
Graf 4.9 - Změna rozměru v závislosti na čase



Graf 4.12 - Změna rozměru v závislosti na čase

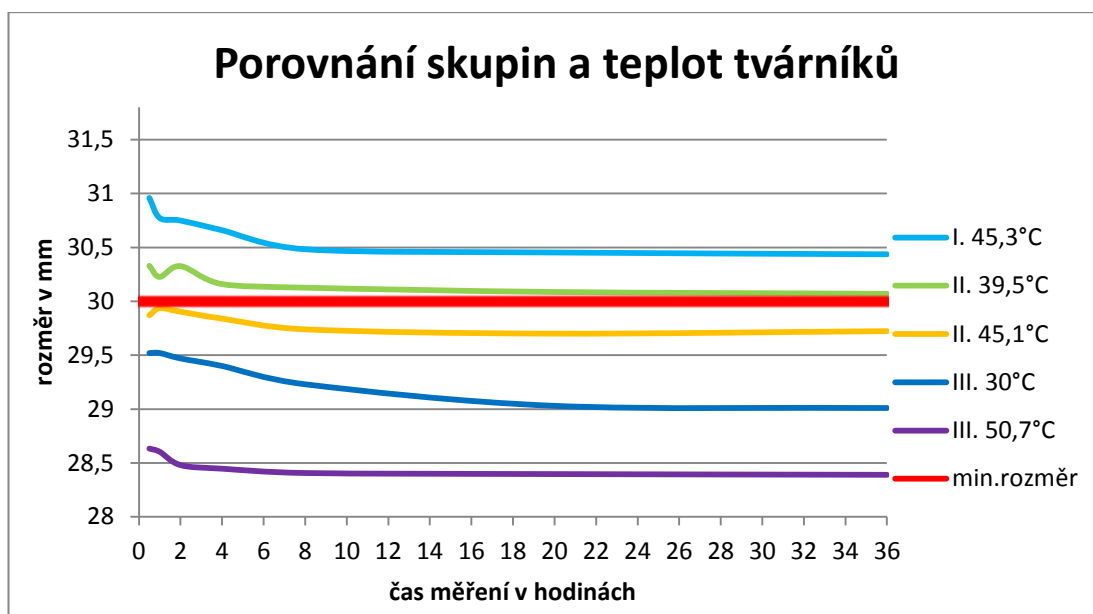


Graf 4.11 - Změna rozměru v závislosti na čase



Graf 4.10 - Změna rozměru v závislosti na čase

Porovnáním nejnižších rozměrů (viz. Graf 4.13), získáváme viditelný vliv teploty tvárníku na následné smrštění a deformaci.



Graf 4.2 - Porovnání skupin a teplot tvárníků

Pro přehlednost grafu byly vhodně vybrány vzorky z jednotlivých skupin. Ve skupině I. jsou křivky změny rozměru od sebe odchýleny maximálně o 0,1 mm a jsou tedy společně zastoupeny svojí střední hodnotou, které bylo dosaženo při použití tvárníku o teplotě 45,3°C. Skupina II. která nevyužívá rozměrný dochlazovací přípravek, ale pouze plastové víčko (viz. Obrázek 3.7) je zlomová. Vlivem chlazení tvárníku jsme dosáhli tolerovaného rozměru bez použití dochlazovacího přípravku. Dojde-li ale k nárůstu teploty nad 40°C, rozměrová deformace již není v tolerančním poli. Tento fakt je zřetelný u křivky ze skupiny II. vyrobené při teplotě tvárníku 45,1°C. Největšího rozdílu měřeného rozměru došlo ve skupině III. Tedy ve skupině, kde není použit dochlazovací přípravek ani víčko pro skladování. Všechny výrobky ze skupiny III. mají svůj nejnižší rozměr pod toleranci. Na znázorněných křivkách je rozdíl velikosti způsoben vysokým rozdílem teplot tvárníku (20,7°C).

5 ZÁVĚR

Automobilový průmysl je nejrychleji se rozvíjejícím odvětvím lidské činnosti na světě. Firmy dodávající komponenty automobilkám zaměstnávají miliony lidí. Konkurence roste a každá možnost zrychlení výroby a zvýšení produktivity je nespornou výhodou v konkurenčním boji.

Velmi důležitou roli v produktivitě výroby u procesu vstřikování hraje teplota formy a doba chlazení. Zkrácení doby chlazení vede ke snížení výrobních nákladů, nesmí však dojít ke snížení kvality vstřikovaného dílu. Cílem této práce je prozkoumat vliv teploty dutiny formy a následný způsob dochlazení na deformace. Pro tento účel byl zvolen díl víko chladiče, u kterého byla možnost vyzkoušet i různé způsoby následného dochlazování. Výroba těchto dílů probíhala ve firmě BEHR CZECH s.r.o. v Mnichově Hradišti.

Teoretická část je zaměřena na technologické procesy během vstřikování, které mají zásadní vliv na smrštění výrobku. Využití skleněných plniv a jejich druhů. Dále popsání vlivu smrštění výrobku na deformaci a možnosti konstrukčních řešení zamezující deformaci.

V experimentální části je řešen problém chlazení vybrané části vstřikovací formy a možnosti dochlazování výrobku. Vliv těchto přípravků na výslednou deformaci a jejich využitelnost ve firmě BEHR CZECH s.r.o.

Z dosažených výsledků se podařilo dokázat, že využívání rozměrného dochlazovacího přípravku je v tomto případě nadbytečné. Dosáhli jsme tolerovaného rozměru změnou teploty tvárníku a využitím jednoduchého přípravku pro skladování, který používá firma BEHR. Tato změna v technologii výroby usnadní práci operátorovi stroje a zvětší pracovní plochu a manipulační prostor ve firmě BEHR CZECH s.r.o. Nevýhodou je nedostatečné chlazení tvárníku, které je způsobeno malým průměrem chladicího kanálku. Z toho důvodu bylo zchlazení zajišťováno dlouhou časovou prodlevou mezi jednotlivými vstřikovacími cykly a externě zapojeným chladícím okruhem. Toto řešení je ovšem neekonomické. Efektivnost chlazení lze zvýšit přímým zapojením chladicího okruhu ve stroji, díky čemuž získáme výrazně větší průtok chladicí kapaliny. Dále je možné snížit teplotu kapaliny až na 12°C. Těmito změnami, které nejsou finančně nikterak náročné, dosáhneme požadovaného času mezi vstřikovacími cykly. Výsledky této práce byly

předloženy vedení společnosti a je projednáváno zavedení této technologické změny do výroby.

6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŠTĚPEK, J., ZELINGER, J., KUTA, A., *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. 1. vyd. Praha, Bratislava : SNTL, Alfa, 1989. 638 s. ISBN DT 678.5(075.8).
- [2] LENFELD, Petr. *Technologie II*. Vyd. 2. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009, 138 s. ISBN 978-80-7372-467-2.
- [3] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 246 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [4] HORÁK M.: *Vliv doby chlazení na smrštění výstřiku klimatizační jednotky vozu Audi A4 z PP v závislosti na teplotě temperačního media*. Liberec: TU v Liberci, bakalářská práce, 2007.
- [5] SIERATOVSKÝ J.: *Vliv teploty formy na smrštění výstřiku klimatizační jednotky z polypropylenu vozu Audi A4*. Liberec: TU v Liberci, bakalářská práce, 2007.
- [6] ŠVAJDA, Karel a Martin PILAŘ. *Aplikace polyamidů v motorovém prostoru* [online]. 2011, č. 1 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/aplikace-polyamidu-v-motorovem-prostoru.html>
- [7] NEUHÄUSL, Emil. *Vady výstřiků – 6. díl, Skryté vady. Vady výstřiků – 6. díl, Skryté vady* [online]. 210, č. 11 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-6-dil-skryte-vady-orientace-struktura-nehomogenita.html>
- [8] NEUHÄUSL, Emil. *Polymery amorfni a semikrystalicke z hlediska vstřikování. Polymery amorfni a semikrystalicke z hlediska vstřikování* [online]. 2012, č. 1 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/polymery-amorfni-a-semikrystalicke-z-hlediska-vstrikovani.html>

- [9] NEUHÄUSL, Emil. Vady výstřiků – 2. díl: Vady tvaru a rozměrové vady. *Vady výstřiků – 2. díl: Vady tvaru a rozměrové vady* [online]. 2010, č. 4 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-2-dil-vady-tvaru-a-rozmerove-vady.html>
- [10] <http://www.hb-therm.ch>
- [11] <http://www.maneko.cz/digitalni-teplomer-testo-922/>
- [12] <http://www.engelglobal.com>
- [13] <http://www.eppplasty.cz/ertalon.htm>
- [14] http://www.merrem-materials.com/PA66_GF30_black.pdf
- [15] <http://www.behrgroup.com/>

SEZNAM PŘÍLOH BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

- Příloha 1** Naměřené hodnoty rozměrů v závislosti na čase pro skupinu I.
- Příloha 2** Naměřené hodnoty rozměrů v závislosti na čase pro skupinu II.
- Příloha 3** Naměřené hodnoty rozměrů v závislosti na čase pro skupinu II.

Příloha 1- Naměřené hodnoty rozměrů v závislosti na čase pro skupinu I.
Tabulka 6.1 - Hodnoty naměřené pro skupinu I.

skupina I.	čas měření od doby vyrobení dílu							doba výdrže mezi vstřikovacími cykly 2,5 min
	30 min	1 hod	2 hod	4 hod	8 hod	20 hod	36 hod	
teplota tvárníku 35,3°C	31,74	31,62	31,58	31,32	31,33	31,37	31,37	měření v místě A (mm)
	31,68	31,58	31,54	31,28	31,35	31,45	31,43	
	31,70	31,55	31,60	31,41	31,40	31,43	31,40	
teplota protékající kapaliny 20°C	31,18	30,92	30,78	30,66	30,69	30,58	30,53	měření v místě B (mm)
	31,11	30,97	30,86	30,57	30,71	30,59	30,47	
	31,10	30,88	30,75	30,65	30,69	30,54	30,55	
	31,29	31,19	31,21	30,81	31,11	31,09	30,91	měření v místě C (mm)
	31,28	31,17	31,24	30,92	31,08	30,98	30,99	
	31,35	31,12	31,19	30,86	31,16	31,02	31,01	
	čas měření od doby vyrobení dílu							doba výdrže mezi vstřikovacími cykly 2 min
	30 min	1 hod	2 hod	4 hod	8 hod	20 hod	36 hod	
teplota tvárníku 40,2°C	31,51	31,37	31,43	31,28	31,24	31,17	31,20	měření v místě A (mm)
	31,59	31,40	31,44	31,19	31,19	31,20	31,27	
	31,54	31,46	31,40	31,30	31,26	31,25	31,23	
teplota protékající kapaliny 20°C	30,97	30,90	30,82	30,53	30,54	30,42	30,48	měření v místě B (mm)
	30,97	30,86	30,84	30,61	30,48	30,50	30,50	
	30,94	30,88	30,77	30,55	30,56	30,44	30,42	
	31,32	31,16	31,19	31,08	31,01	30,91	30,94	měření v místě C (mm)
	31,36	31,23	31,13	31,12	30,96	30,95	30,90	
	31,29	31,13	31,20	31,05	30,94	30,89	30,96	
	čas měření od doby vyrobení dílu							doba výdrže mezi vstřikovacími cykly 0,5 min
	30 min	1 hod	2 hod	4 hod	8 hod	20 hod	36 hod	
teplota tvárníku 45,3°C	31,64	31,60	31,55	31,28	31,22	31,27	31,27	měření v místě A (mm)
	31,64	31,58	31,53	31,24	31,25	31,29	31,24	
	31,69	31,55	31,49	31,33	31,19	31,26	31,26	
teplota protékající kapaliny 17,7°C	31,00	30,71	30,75	30,64	30,45	30,49	30,40	měření v místě B (mm)
	30,92	30,82	30,78	30,69	30,48	30,45	30,48	
	30,96	30,79	30,72	30,65	30,52	30,42	30,43	
	31,19	31,22	31,26	31,09	31,04	31,03	30,99	měření v místě C (mm)
	31,32	31,31	31,22	31,02	31,01	31,01	31,02	
	31,28	31,25	31,29	31,11	30,98	30,99	31,03	
	čas měření od doby vyrobení dílu							doba výdrže mezi vstřikovacími cykly 1 min
	30 min	1 hod	2 hod	4 hod	8 hod	20 hod	36 hod	
teplota tvárníku 50,8°C	31,39	31,38	31,33	31,21	31,08	31,04	31,08	měření v místě A (mm)
	31,28	31,32	31,35	31,26	31,05	31,09	31,05	
	31,35	31,28	31,28	31,30	31,11	31,05	31,09	
teplota protékající kapaliny 25°C	30,81	30,55	30,47	30,38	30,27	30,40	30,32	měření v místě B (mm)
	30,79	30,52	30,42	30,36	30,31	30,33	30,38	
	30,76	30,48	30,50	30,33	30,25	30,38	30,35	
	31,07	31,07	31,00	31,01	30,90	30,83	30,83	měření v místě C (mm)
	31,00	31,05	30,98	30,96	30,96	30,75	30,73	
	31,12	31,10	31,04	30,96	30,89	30,81	30,78	

Příloha 2- Naměřené hodnoty rozměrů v závislosti na čase pro skupinu II.
Tabulka 6.2 - Hodnoty naměřené pro skupinu II.

skupina II.		čas měření od doby vyrobení dílu						dobu výdrže mezi vstřikovacími cykly 1,5 min	
		30 min	1 hod	2 hod	4 hod	8 hod	20 hod	36 hod	
teplota 34,9°C	tvárníku	31,17	31,08	31,24	31,07	31,02	31,05	31,09	měření v místě A (mm)
		31,11	31,12	31,22	31,11	31,00	31,08	31,14	
		31,20	31,13	31,18	31,08	31,09	31,01	31,08	
teplota kapaliny 19,9°C	protékající	30,17	30,18	30,03	30,07	30,03	30,03	30,06	měření v místě B (mm)
		30,16	30,19	30,09	30,06	30,05	30,05	30,11	
		30,14	30,22	30,07	30,02	30,06	30,01	30,09	
		31,05	30,98	31,04	30,82	30,66	30,72	30,75	meření v místě C (mm)
		31,01	30,99	31,06	30,76	30,78	30,75	30,82	
		31,02	30,99	31,01	30,81	30,73	30,69	30,79	
		čas měření od doby vyrobení dílu						dobu výdrže mezi vstřikovacími cykly 1 min	
		30 min	1 hod	2 hod	4 hod	8 hod	20 hod	36 hod	
teplota 39,5°C	tvárníku	30,94	31,11	31,20	30,93	30,85	30,99	30,93	měření v místě A (mm)
		30,92	31,09	31,26	30,90	30,94	31,05	31,01	
		31,00	31,08	31,19	30,97	30,87	30,98	30,97	
teplota kapaliny 16,5°C	protékající	30,30	30,16	30,35	30,13	30,17	30,08	30,13	měření v místě B (mm)
		30,37	30,25	30,34	30,18	30,10	30,05	30,06	
		30,32	30,27	30,29	30,17	30,11	30,13	30,02	
		30,87	30,99	30,93	30,85	30,75	30,78	30,75	meření v místě C (mm)
		30,71	30,95	30,94	30,81	30,83	30,71	30,69	
		30,89	30,92	30,92	30,86	30,79	30,70	30,73	
		čas měření od doby vyrobení dílu						dobu výdrže mezi vstřikovacími cykly 0,5 min	
		30 min	1 hod	2 hod	4 hod	8 hod	20 hod	36 hod	
teplota 45,1°C	tvárníku	30,38	30,48	30,39	30,31	30,20	30,20	30,34	měření v místě A (mm)
		30,40	30,44	30,42	30,35	30,25	30,24	30,26	
		30,43	30,41	30,45	30,29	30,28	30,25	30,22	
teplota kapaliny 17,6°C	protékající	29,88	29,96	29,90	29,89	29,75	29,68	29,72	měření v místě B (mm)
		29,85	29,93	29,93	29,82	29,69	29,69	29,76	
		29,88	29,92	29,88	29,81	29,78	29,73	29,69	
		30,56	30,54	30,52	30,41	30,30	30,33	30,36	meření v místě C (mm)
		30,57	30,53	30,48	30,37	30,39	30,38	30,32	
		30,54	30,49	30,47	30,45	30,36	30,35	30,37	
		čas měření od doby vyrobení dílu						dobu výdrže mezi vstřikovacími cykly 1 min	
		30 min	1 hod	2 hod	4 hod	8 hod	20 hod	36 hod	
teplota 50,2°C	tvárníku	30,93	30,91	30,81	30,81	30,84	30,90	30,88	měření v místě A (mm)
		30,98	30,88	30,85	30,84	30,86	30,86	30,86	
		30,95	30,92	30,86	30,79	30,85	30,87	30,90	
teplota kapaliny 25°C	protékající	29,87	30,02	29,96	29,96	29,85	29,86	29,79	měření v místě B (mm)
		29,90	29,98	30,01	29,89	29,88	29,85	29,85	
		29,95	29,99	29,93	29,94	29,91	29,85	29,86	
		30,77	30,71	30,70	30,65	30,65	30,63	30,65	meření v místě C (mm)
		30,82	30,72	30,68	30,63	30,70	30,65	30,58	
		30,79	30,69	30,71	30,68	30,62	30,60	30,63	

Příloha 3- Naměřené hodnoty rozměrů v závislosti na čase pro skupinu III.
Tabulka 6.3 - Hodnoty naměřené pro skupinu III.

skupina III.		čas měření od doby vyrobení dílu							doba výdrže mezi vstřikovacími cykly 3 min
		30 min	1 hod	2 hod	4 hod	8 hod	20 hod	36 hod	
teplota 30°C	tvárníku	30,03	29,95	29,94	29,71	29,70	29,68	29,63	měření v místě A (mm)
		30,01	29,94	29,96	29,78	29,75	29,70	29,65	
		30,02	29,92	29,92	29,76	29,72	29,65	29,70	
teplota 20°C	protékající kapaliny	29,55	29,48	29,51	29,33	29,28	29,05	29,05	měření v místě B (mm)
		29,52	29,52	29,47	29,40	29,23	29,03	29,01	
		29,56	29,53	29,49	29,38	29,24	29,10	29,08	
		30,58	30,48	30,45	30,42	30,32	30,33	30,33	meření v místě C (mm)
		30,66	30,46	30,48	30,37	30,36	30,30	30,35	
		30,59	30,45	30,43	30,40	30,33	30,35	30,29	
		čas měření od doby vyrobení dílu							doba výdrže mezi vstřikovacími cykly 1 min
		30 min	1 hod	2 hod	4 hod	8 hod	20 hod	36 hod	
teplota 40,2°C	tvárníku	29,66	29,75	29,62	29,54	29,43	29,37	29,39	měření v místě A (mm)
		29,74	29,73	29,58	29,47	29,40	29,40	29,37	
		29,68	29,69	29,65	29,51	29,48	29,36	29,35	
teplota 17,7°C	protékající kapaliny	29,23	29,29	29,07	29,03	28,92	28,93	28,87	měření v místě B (mm)
		29,25	29,28	29,11	29,00	28,96	28,85	28,93	
		29,28	29,22	29,09	29,04	28,95	28,91	28,92	
		30,34	30,36	30,32	30,24	30,19	30,02	30,00	meření v místě C (mm)
		30,38	30,32	30,28	30,21	30,17	30,03	29,98	
		30,37	30,28	30,27	30,25	30,16	29,99	30,01	
		čas měření od doby vyrobení dílu							doba výdrže mezi vstřikovacími cykly 0,5 min
		30 min	1 hod	2 hod	4 hod	8 hod	20 hod	36 hod	
teplota 44,8°C	tvárníku	29,56	29,52	29,51	29,40	29,33	29,30	29,29	měření v místě A (mm)
		29,66	29,47	29,47	29,38	29,35	29,32	29,32	
		29,68	29,50	29,49	29,41	29,35	29,29	29,30	
teplota 17,4°C	protékající kapaliny	28,98	29,04	28,96	28,96	28,91	28,86	28,91	měření v místě B (mm)
		29,00	28,96	28,95	28,92	28,88	28,93	28,88	
		28,96	29,03	28,98	28,91	28,92	28,90	28,92	
		30,24	30,30	30,09	30,09	30,11	29,98	30,03	meření v místě C (mm)
		30,22	30,27	30,05	30,01	30,04	30,02	30,02	
		30,20	30,26	30,07	30,03	30,06	30,05	30,00	
		čas měření od doby vyrobení dílu							doba výdrže mezi vstřikovacími cykly 1 min
		30 min	1 hod	2 hod	4 hod	8 hod	20 hod	36 hod	
teplota 50,7°C	tvárníku	29,02	29,05	28,99	28,92	28,87	28,83	28,76	měření v místě A (mm)
		28,99	28,98	29,03	28,91	28,81	28,79	28,77	
		29,01	29,03	29,02	28,88	28,79	28,75	28,80	
teplota 25°C	protékající kapaliny	28,62	28,64	28,51	28,46	28,39	28,44	28,36	měření v místě B (mm)
		28,63	28,58	28,47	28,41	28,42	28,38	28,42	
		28,65	28,59	28,46	28,47	28,41	28,37	28,39	
		29,94	29,87	29,85	29,70	29,66	29,65	29,75	měření v místě C (mm)
		29,93	29,85	29,83	29,76	29,73	29,63	29,68	
		29,98	29,81	29,78	29,73	29,69	29,71	29,71	